

클린룸의 방재계획

김 용 선
 럭키엔지니어링(주)
 설비사업부 / 과장

I. 서 론

CLEAN ROOM(이하 “C/R”)은 첨단산업, 식품의 가공 및 생산, 연구시설 등 현대산업에서 필요로 하는 정밀, 위생 및 생화학적 안전을 목표로 하는 작업장에 널리 이용되고 있으며 그 규모도 급속히 대규모화 되어가고 있다.

C/R의 보급 및 대규모화에 따라 첫번째로 그 내부의 작업인원의 안전을 고려하고 두번째로 고가의 투자 자산 보호의 필요성도 같이 인식하게 된다.

C/R의 역사가 길지 않지만 주로 보안을 유지해야 할 필요가 있는 시설물, 군사 목적 또는 기업비밀로 취급되는 시설들이 대부분을 차지하므로 C/R 내에서 발생되고 있는 재해의 사례는 세간에 알려지지 않는 경우가 많다. 재해발생 사례는 C/R 계획상 중요한 지침이 될 필요는 있으나 통상의 계획에서는 통상적인 개념의 방재 계획들이 적용되는 것이 많다.

C/R은 육안으로 보기에 잘 정돈되고 청결하게 유지는 하고 있지만 실제로는 현재기술이 만들 수 있는 많은 환경 오염 요소와 위

험 요소를 가장 복잡하게 갖추고 있는 복합체이다.

실제로 일본등 C/R을 많이 보유하고 있는 선진국에서의 여러가지 유형의 사고사례가 보고되고 있다.

인체가 통상 생활하는 환경과 C/R 内の 환경은 완전히 다르므로 C/R 작업자의 건강에 대한 문제로 산업재해의 영역에서 검토되어야 하지만 본고에서는 정상적인 기능을 갖는 C/R 설비가 예측지 못한 상태를 나타내면서 그 상황이 발전하여 사고를 야기하고 궁극적으로는 재해로 이어지는 물리적 측면에 대해 설명하고자 한다. 또한 BIO C/R의 영역인 BIO HAZARD에 대해서도 개념의 차이가 있으므로 다음 기회로 미루고져 한다.

II. 사고사례

- 1) LSI공장에서 CVD배가스 Scrubber(연소식)의 배기 Duct 접속 부위에서 화재가 발생하여 3,500㎡의 작업 C/R이 연소되었다. 이는 불완전 연소처리된 Silane Gas (SiH₄)가 배출되고 발화하면서

Polypropylene 재질의 Duct로 인화되고 이로 인해 C/R에 화재가 발생하였다.

- 2) Germane(GeH₄) 용기의 하차 작업중 용기가 폭발하여 3개의 파편이 반경 150~200m 주위로 비산되고 2명이 화상을 입었다.

용기는 1.3m 길이에 22cm 직경의 크롬몰리브덴강의 것으로 10kg의 Germanium이 약 35kg/cm²의 압력으로 충전되어 있었다. 용기내에서 Germanium의 분해로 인한 폭발로 추정되어지지만 명확한 원인은 불명이다.

- 3) 다결정 Silicone의 제조장치에서 장치 배기 가스를 Scrubber로 보내주는 Duct에서 화재가 발생하여 FRP Duct 20m가 소손되었다. 수소와 Trichloros Silane 등을 함유하고 있는 복합가스의 자연발화로 보여진다.

- 4) 생산장비 근무자의 오작동으로 Silane 폭발이 일어나 PVC 배기설비에 인화되어 화재가 발생하였다.

- 5) 주문했던 Gas의 성분에 의문이 생겨 분석한 결과 Silane 30%, 아연화질소 70%의 혼합가스로 판명되어 이 Cylinder를 운반 트럭에 싣는 과정에서 폭발하여 3명이 사망하였다.

- 6) 수입한 CVD장치의 성능검사를 위해 Silane Cylinder를 열었을 때, Scrubber로 연결되는 배기용 배관의 Valve가 열려 있었기 때문에 배관내로 흘러 배관내 잔류 공기와 접촉, 발화하였다.

- 7) 특수 Gas Cylinder를 내장한 Gas Cabinet에서 장착 불완전으로 발화되어 Cylinder Cabinet Room에서 화재가 발생하였다.

* 국내의 경우 특별히 C/R사고에 대한 보고가 없으므로 일본에서의 실례를 보면 표 1과 같다.

III. 방재계획

1. 특 징

반도체와 전자업체를 위주로 사용되고 있는 C/R의 방재, 안전상의 특징을 우선 살펴본다. 표 2에 보는바와 같이 일반건물이나 화학플랜트보다 특수한 유해, 유독가스를 취급하므로 중독이나 인화 또는 폭발의 위험성이 중요한 특징임을 알 수 있다.

이러한 특징들을 고려하여 설계단계에서 동선 및 제반 설비를 고려하여 이에 대비해야 한다. 또한 사고라고 불리워지는 사태외에도 작업자들의 근무환경이 특수하며 미세한 Gas들을 가까이에서 흡입할 수 있는 가능성이 많으므로 이들의 건강진단 및 근무시간의 제한도 고려의 대상이 된다.

2. 방재계획

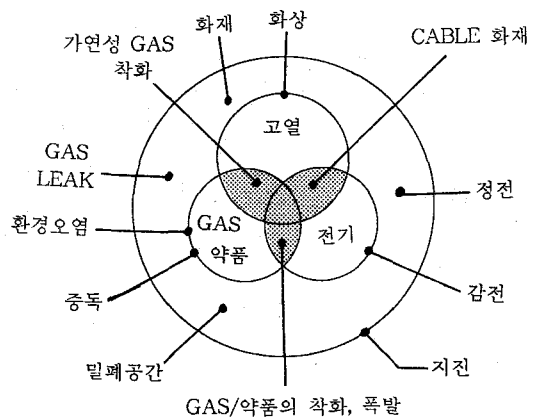


그림 1 재해요인의 연관성

표 1. 일본 CLEAN ROOM 설비 관련 재해 사례

1991.	불화수소계 1명 중독	반도체 생산장비 시운전중 고장으로 TANK 내부 온도 상승하여 수리작업자가 흡입
1991.	옥시염화인 1명 중독	반도체 제조공정용의 옥시염화인 용기를 떨어뜨려 깨진 용기로 부터의 증기 흡입
1991.	클로로포름 2명 중독	C/R 내에서 인(P)지방질 합성 종사자가 4개월 근무후 중독으로 판정됨
1991.	1.1.1 트리클로로 - 에탄 1명 중독사망	반도체 Frame판 세정기내 용제 교환기 위해 방독 마스크를 쓰고 들어갔다가 사고 당함
1991.	아세톤, 톨루엔, 메탄올 1명 중독	집적회로 자동도장 장치에서 장시간 근무하던중 환기 불량으로 중독됨
1990. 8. 27	산소부족으로 1명 사망(神奈川)	연구소에서 반도체 재료연구를 위해 액화질소 충전중 넘쳐서 기화된 질소로 질식
1989. 12. 13	폭발로 1명 사망 4명 부상(東京)	반도체 시험제작 Line에서 모노시레인 용기교환중 다량의 가스 Leak후 폭발
1989. 8. 14	산소부족으로 1명 부상(福島)	여름휴무중 질소가 충전되어 있던 반도체 공장조립 Line에서 기계정비 위해 들어갔다가 사고발생, 사고 직후의 산소농도는 8.8%였다.
1988. 5	6불화 세레인 1명 중독(岡山)	C/R에서 광 Disk 성막기 시험운전중 배관 연결부로부터 Leak
1985. 11	시크롤 에틸렌 약품 사고로 3명 부상(福山)	IC 기판 Photo/Etching LINE에서 수산화칼륨을 Drum에 회수하다가 잔류 트리클로르 에틸렌과 반응한 증기로 눈에 부상
1982. 10. 3	화재로 1명 사망 5명 부상(宮崎)	CVD장비에 잔류해 있던 모노시레인이 발화, 천정 Duct로 인화되어 연소

표 2. C/R 방재/안전상의 특징 비교

위험성 항목	일 반 건 물	C / R	화학 플랜트
1. 화 재	* 화기사용 기구 - 흡 연 - 누 전	* 자연발화성 가스 Leak - 가연성 가스 Leak - Furnace/Duct의 과열 - 누 전	* Process 이상반응 - 가연성가스 Leak - 보수공사
2. 폭 발	- 도시가스 Leak - 전기접점	- 폭발성 가스 Leak - 전기접점/정전기	- 폭발성 가스 Leak - 전기접점/정전기
3. 유해가스	- 도시가스 Leak	- 유해가스 Leak - 실내충만, 확산	- 유해가스 Leak - 대기확산
4. 발생장소	* 거 실	* 생산실, 천정내부, Access Floor하부	* 장치, 배관주변
5. 피해발생	* 인명피해 크다 - 영업정지에 의한 손해	* 생산설비 손상/오염 - 생산중단으로 인한 피해	* 생산설비의 손상 - 생산중단으로 인한 피해 - 주변오염 등의 피해
6. 경보장치	* 가스 Leak Alarm - 누전경보	* 특수가스 Leak Detector - 누전경보 * 장치 이상 경보	* 가스 Leak Detector - Process 이상경보
7. 화재조기 발견	* 입주자 목격 - 자탐설비	* 작업자/입주자 목격 - 자탐설비	* 작업자 목격 - Process 이상경보
8. 피난, 유도	* 인명 구조 우선 - 대상의 유동성	* 밀폐 C/R로부터 피난경 보 확보 - 대상 : 특정 작업자	- 보수작업자 - 자동화/무인화
9. 초기대응	- 목격자 진화작업 * 자동 진화 설비 - 가스긴급 차단	* 모든종류 Gas공급 긴급 차단 * 모든종류 Gas 긴급배기 * 자동진화 System	* Process 긴급정지 - Gas긴급배출 - 긴급 냉각 - 압력안정화/방출 - 반응제어제 투입
10. 본격소화	* 소방대/소방서 - 건물파괴, 살수	- 좌동 ^{*)}	- 좌 동 - 화학진화

* : 중요항목

*1 : 공장단위 규모로 보아 인접 공장들과 공조(共調)체제를 유지하는 것이 바람직하다.

1) 재해요인

재해요인을 복잡하고 다양하게 갖고 있는 C/R에서의 관련성을 다음 그림 1에 표현하였다.

그림 1에서 보는바와 같이 요인 각각의 위험성도 있지만 제 2의 요인과 연관되어 복잡한 재해의 형태를 창조해 내므로 서로의 연관성에 대한 요인파악에도 신경써야 한다.

2) 대책의 검토단계

재해에 대응하는 대책은 크게 4단계로 나누어 보면 표 1의 상황에서

- 1단계 예방안전 대책(표 2의 1항~5항 검토)
- 2단계 조기발견 대책(표 2의 6항~7항 검토)
- 3단계 확산방지(표 2의 8항~9항 검토)
- 4단계 본격진압(표 2의 10항 검토)로 나누어 검토한다.

3) 건설초기 계획

이러한 4단계의 대책을 수립하기 위하여 각 관련 부서에서는 재해 손실 최소화 목표로서 다음을 고려하도록 하자.

- ① 건축구조물의 단순화
- ② C/R 內 불필요한 시각 장애물 제거
- ③ 가능한 C/R 면적 최소화 생산공정 계획

IV. C/R의 환경적 요인

C/R이 갖고 있는 약점은 재해의 요인이다.

- 1) 밀폐된 공간: Air Shower를 통한 출입구 외에 반드시 일반 출입구를 병행 설치하여 피난시에 대비한다. (그림 2참조)
- 2) 재해 Potential이 높다: 가연성, 자기 발화성 및 유독성 가스, Chemical 등의 위

험요소들을 사용한다.

- 3) 공조설비가 단독 계통이며 환기횟수가 많아 Gas나 연기의 확산이 매우 빠르다.
- 4) 물질 특성을 알 수 없는 복합물질이 생성된다.
- 5) 상주 인원이 상대적으로 적으므로(청정도 유지를 위해 작업자를 줄이고 자동화 설비를 늘리는 추세) 사고의 초기 발견이 어렵고 전역적으로 확산이 쉽다.
- 6) 24시간 가동하므로 해이해지기 쉬운 야간, 심야에도 대응해야 한다.
- 7) C/R 내부의 생산장비 및 중간 또는 완성제품이 고가이므로 회사측면에서는 오작동으로 발생할 수 있는 스프링클러로부터의 손실을 피하기 위해 설치에 거부감을 갖고 있다.

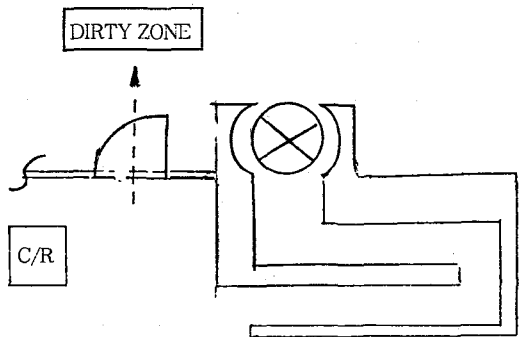
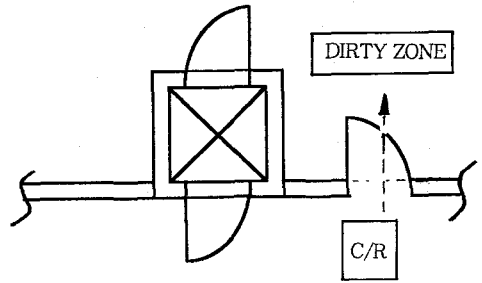


그림2 피난구 확보 예

V. 재해의 종류의 대책

- 1) 화재 : 물기를 피하거나 고전압 설비가 있으므로 CO₂ 설비 등도 검토한다. 할로겐 소화설비는 생산중단 계획에 있어서도 문제가 있지만 반도체 공정의 Monosilene과 반응하므로 신중히 선택해야 한다.
- 2) 지진 : 지진 발생 가능성은 국내에서는 높지 않으나 건축 골조 설계시 여유있게 (약 25%) 강도를 확보할 필요가 있다. 지진은 붕괴의 위험뿐만 아니라 진동으로 인해 Utility 배관의 이완, 파괴 및 Leak가 생기며 저장 위험물의 대량누출, 정전 등으로 인한 피해가 예상된다.
- 3) 폭발 : 사고 발생에 따른 여유시간이 전혀 없는 경우이며 영향이 크다. 고압용기, 보일러, 콤프레셔 등의 장비구입, 운전, 취급 및 운반경우 특별히 신경을 써야 한다.
- 4) Gas Leak : Leak의 원인으로는 Cylinder 및 배관의 설치 보수시나 노후설비의 부식 등으로 발생하지만 지진 및 화재의 2차 재해로도 발생한다. 밸브, Check 밸브 등의 Fitting을 절대 신임하지 말고 꾸준하고 정밀한 상태의 확인이 필요하다.
- 5) 정전기 : 정전기의 대전은 반도체 제품의 수율에 영향을 줄 뿐 아니라 폭발, 화재를 유발하고 인체에 전기충격으로 2차적인 사고를 유발한다. 상대습도 65% 이하는 일단 정전기 발생 가능성이 높다. 대전방지 Smock과 모든 물질/건축 재질 등의 선정에서부터 많은 고려를 해야 한다.
- 6) 정전 : 예측치 못한 정전은 설비 전체

또는 일부를 무력화 시키므로 설비계통의 상태를 예측하기 힘들다. 대책으로는 2중의 회선을 확보하고, 비상용 발전기는 최소한 배기 환풍기와 비상조명 및 소방펌프의 요량 등을 감당할 수 있어야 한다.

- 7) 단수 : 정전 및 지진 등으로 예상되므로 비상용의 수원을 확보할 수 있는 수조를 고층부에 설치한다.

* 참고 : 국내 내화구조에 관한 법규 목록

- ① 노동부 고시 제91-84호 위험물 저장, 취급설비에 관한 내화기준
- ② 건축법 제40조 및 시행령에 의한 내화구조
- ③ 건설부고시 제1992-560('92. 10. 21) 별표 1
- ④ 내화시험 가열온도 및 규제온도 KSF 2257

VI. 결 론

C/R에서의 일정규모 이상의 사고는 그 C/R의 포기를 의미한다 해도 과언이 아니므로 건설시 양호한 품질의 재질과 장비 또한 System을 구성하며 항시 정상적인 가동과 기능을 하는지 유지할 필요가 있다. 구체적으로는 신뢰성 높은 부품으로 전 장비와 자기 진단 능력을 입력이던지 자동이던지 확보하고 항시 어느 부분이라도 작업자 또는 진압자의 접근이 쉬운 상태로 동선을 유지해야 한다. 또한 Ion Implanter나 CVD등의 장비 부품 교환 등의 작업시 유해물질로 인한 사고도 많으므로 각별히 신경을 써야 하며 순회 점검은 2인 이상이 조를 이루거나 항시 무선 송수신이 가능토록 해야 한다. 사고는 예측하지 못하는 것이므로 모든 구성원이 깨어 있

어야 높은 안전성을 확보할 수 있는 것이다.

- 참 고 문 헌 -

1. Clean Technology '91. 9월호

2. Clean Technology '91. 3월호

3. Clean Technology '91. 6월호

4. Clean Room Hand Book “日本空氣清淨協會” '89. 1. 1版

5. Lucky Engineering(주) 내부 자료 일부

뉴스

■ 중소기업 기술개발활동 지원 강화-과학기술처

정부는 금융실명제 실시에 따라 단기적으로 중소기업의 기술혁신이 크게 위축될 것으로 판단, 정부 지원 자금의 확대 등 중소기업들의 연구개발활동을 촉진할 수 있는 대책을 마련, 이를 강력히 추진키로 했다.

과기처는 금융실명제의 실시에 따라 기업운영자금 등의 압박으로 기술개발 투자가 당초 계획대로 이루어지지 못할 것이라고 보고 우선 올해 6월부터 시행하고 있는 '중소기업 기술혁신 특별자금' 1천억원을 오는 9월까지 소진토록 하고 5백억원 내외의 자금을 추가로 조성, 오는 10월부터 중소기업들에게 지원 할 방침이다.

이와 함께 한국종합기술금융을 통해 올해 지원분인 4천억원의 기술개발자금을 최근 자금확보에 애로를 겪고 있는 중소기업에 우선적으로 신속하게 지원할 계획이며, 중소기업들이 손쉽게 기술개발자금을 지원받을 수 있도록 이달부터 전국을 순회하면서 중소기업들에 대해 기술개발자금에 대한 안내와 함께 신청을 접수 할 예정이다. 또 금융실명제 실시 초기 단계에서 중소기업에 실질적으로 필요한 팩터링, 기업성장자금등의 수요가 크게 증가할 것에 대비, 올해 2백억원인 자금지원 계획을 수정해 확대공급해 나가기로 했다.

이같은 자금지원 확대와 함께 과기처는 민간기업의 기술관련 애로사항을 신속하게 해결해 나가기 위한 방안으로 한국산업기술진흥협회내에 설치된 '산업기술애로신고센터'의 업무를 강화, 주 1회 단위로 민간기업의 기술개발동향을 파악, 점검하는 한편 정부와 기술개발 관련 단체와의 모임을 월 1회 정기적으로 개최.

금융실명제 실시에 따라 민간기업의 기술혁신 노력이 더욱 확대될 수 있는 방안을 강구키로 했다.

[전자신문 8월 29일자]